

· 临床论著 ·

开放获取

## 3D 打印辅助镜下固定前交叉韧带胫骨撕脱骨折<sup>△</sup>

郭旗<sup>1</sup>, 刘玉强<sup>1</sup>, 李怡然<sup>2</sup>, 王续鹏<sup>1</sup>, 梁振雷<sup>1</sup>, 梅伟<sup>1</sup>, 刘宁<sup>1\*</sup>

(1. 河南大学附属郑州市骨科医院, 河南郑州 450052; 2. 河南中医药大学骨伤学院, 河南郑州 450046)

**摘要:** [目的] 探讨 3D 打印辅助关节镜下固定前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 胫骨止点撕脱骨折的临床效果。[方法] 回顾性分析 2020 年 10 月—2022 年 12 月本院收治 ACL 胫骨止点撕脱骨折 58 例患者的临床资料, 分别采用关节镜下骨折复位和经胫骨隧道牵拉高强度缝线弹性固定治疗。根据医患沟通结果, 将患者分为两组, 28 例术前对骨折模型予以 3D 打印和手术操作模拟 (3D 组), 30 例常规进行手术规划和实施 (常规组)。比较两组围手术期、随访及影像资料。[结果] 两组均顺利完成手术, 3D 组手术时间 [(44.6±9.0) min vs (51.3±13.2) min,  $P=0.029$ ]、术后引流量 [(163.1±29.1) ml vs (180.3±33.4) ml,  $P=0.019$ ] 和首次建立骨道成功率 [例 (%), 17 (60.7) vs 10 (33.3),  $P=0.037$ ] 显著优于常规组。术后随访 (12.7±6.9) 个月, 3D 组恢复完全负重活动时间 [(21.7±5.4) d vs (25.9±6.1) d,  $P=0.033$ ] 显著早于常规组。随时间推移, 两组 Lysholm 评分、IKDC 评分和前抽屉试验显著改善 ( $P<0.05$ )。术后 3 个月时, 3D 组 IKDC 评分 [(78.6±6.6) vs (74.1±7.1),  $P=0.016$ ] 显著高于常规组。影像方面, 3D 组骨折复位质量优良率显著高于常规组 [例, 优/良/差, (15/12/1) vs (8/16/6),  $P=0.045$ ]。术后两组患者 ACL 角显著增加 ( $P<0.05$ )、ACL 前嵴高度显著减小 ( $P<0.05$ )。术后 3 个月时, 3D 组 ACL 前嵴高度 [(2.3±0.8) mm vs (2.9±0.8) mm,  $P=0.009$ ] 显著小于常规组。[结论] 关节镜下微创固定前交叉韧带胫骨止点撕脱骨折临床效果良好, 3D 打印辅助有助于缩短手术时间, 提高建立骨道成功率和骨折复位质量, 促进膝关节功能早期恢复。

**关键词:** 前交叉韧带胫骨棘撕脱骨折, 3D 打印, 手术预演, 关节镜术

**中图分类号:** R683.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 22-2017-07

**3D printing assisted arthroscopic fixation of anterior cruciate ligament tibial avulsion fracture**// GUO Qi<sup>1</sup>, LIU Yu-qiang<sup>1</sup>, LI Yi-ran<sup>2</sup>, WANG Xu-peng<sup>1</sup>, LIANG Zhen-lei<sup>1</sup>, MEI Wei<sup>1</sup>, LIU Ning<sup>1</sup>. 1. Department of Sports Medicine, Zhengzhou Orthopedics Hospital, Henan University, Zhengzhou 450052, Henan, China; 2. School of Orthopedics, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, Henan, China

**Abstract:** [Objective] To investigate the clinical consequences of 3D printing assisted arthroscopic fixation of anterior cruciate ligament (ACL) tibial avulsion fracture. [Methods] A retrospective study was performed on 58 patients who received arthroscopic fracture reduction and elastic fixation with high-strength suture pulled out through tibial tunnels for ACL tibial avulsion fracture in our hospital from October 2020 to December 2022. According to preoperative doctor-patient communication, 28 patients had simulated surgical operation performed on 3D printed model before the real surgery (the 3D group), while other 30 patients had routinely arthroscopic fixation conducted without preoperative simulation (the routine group). The perioperative, follow-up and imaging data of the two groups were compared. [Results] All patients in both groups had arthroscopic fracture reduction and fixation performed smoothly. The 3D group proved significantly superior to the routine groups in terms of the operation time [(44.6±9.0) min vs (51.3±13.2) min,  $P=0.029$ ], the postoperative drainage volume [(163.1±29.1) ml vs (180.3±33.4) ml,  $P=0.019$ ], and the success rate of first establishment of bone tunnel [cases (%), 17 (60.7) vs 10 (33.3),  $P=0.037$ ]. The follow-up period lasted for (12.7±6.9) months on an average, and the 3D group resumed full weight-bearing activities significantly earlier than that in the routine group [(21.7±5.4) days vs (25.9±6.1) days,  $P=0.033$ ]. The Lysholm and IKDC scores, as well as anterior drawer test were significantly improved in both groups over time ( $P<0.05$ ). The 3D group was significantly better than the routine group regarding IKDC score 3 months after surgery [(78.6±6.6) vs (74.1±7.1),  $P=0.016$ ]. With respect of imaging, the 3D group was also significantly better than the routine group in term of fracture reduction quality [excellent/good/poor, (15/12/1) vs (8/16/6),  $P=0.045$ ]. The ACL angle was significantly increased ( $P<0.05$ ), while the anterior ACL crest height was significantly decreased postoperatively compared with those preoperatively in both groups ( $P<0.05$ ). The 3D group got significantly lower anterior ACL crest height than the routine group 3

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.100886

△基金项目:河南省科技攻关计划项目(编号:212102310173)

作者简介:郭旗,主治医师,研究方向:运动创伤与关节镜外科,(电子信箱)guoqink301@163.com

\*通信作者:刘宁,(电话)0371-67771803,(电子信箱)liuning0876@sina.com

months postoperatively [(2.3±0.8) mm vs (2.9±0.8) mm,  $P=0.009$ ]. [Conclusion] Arthroscopic reduction and fixation of ACL tibial avulsion fracture does achieve good clinical outcomes. The 3D printing assistance is helpful to shorten the operation time, improve the success rate of bone tunnel establishment and the quality of fracture reduction, and promote the early recovery of knee joint function.

**Key words:** anterior cruciate ligament tibial avulsion fracture, 3D printing, surgical rehearsal, arthroscopy

前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤是临床上常见的运动创伤性疾病, 发生于 ACL 胫骨止点的撕脱骨折是特殊类型的 ACL 损伤, 又被称为胫骨髁间嵴骨折、胫骨前嵴骨折, 于 1875 年由 Poncet 首次报道, 约占 ACL 损伤的 14%, 最常发生于 8~14 岁骨骼未发育成熟的儿童及青少年<sup>[1, 2]</sup>。随着交通事故伤、运动损伤的增多, ACL 胫骨止点撕脱骨折在成年群体亦很常见<sup>[3]</sup>。ACL 胫骨止点位于胫骨平台髁间嵴区, 前方为髌下脂肪垫、膝横韧带, 内侧紧邻胫骨内侧髁间嵴和内侧半月板前角, 外侧连接外侧半月板前角<sup>[4, 5]</sup>。在 ACL 牵拉应力作用下, 撕脱骨折块容易发生移位, 半月板前角、膝横韧带等软组织或骨软骨碎片还会进一步嵌入骨折面, 影响骨折块复位与固定。倘若发生骨折不愈合、畸形愈合、ACL 松弛、髁间窝撞击等, 往往需要二次手术, 甚至需要进行 ACL 重建, 增加社会医疗负担, 影响患者生活质量。如何安全、快速和有效地实现撕脱骨折块的解剖复位与坚强固定, 恢复 ACL 功能, 提高手术疗效, 仍然是目前重要的临床课题。

近年来, 3D 打印技术发展迅速, 利用生物高分子材料进行逐层叠覆式增材制造, 可将患者影像数据快速转换为实体化模型, 广泛应用于骨科疾病的诊治<sup>[6]</sup>。与 CT 扫描 3D 重建不同, 3D 打印有助于临床医生直观地在立体模型上进行诊断和手术预演, 制定科学细致的手术方案, 从而提高手术成功率。本研究基于骨科数字医学技术, 探讨 3D 打印辅助关节镜微创固定 ACL 胫骨止点撕脱骨折的临床效果, 以期为 ACL 胫骨止点撕脱骨折的精准化与个体化治疗提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 纳入与排除标准

纳入标准: (1) 符合 ACL 胫骨止点撕脱骨折诊断标准; (2) 撕脱骨折块明显移位, Meyers 分型为 II~IV 型; (3) 在关节镜下复位并以经胫骨隧道牵拉缝线法固定撕脱骨折块。

排除标准: (1) 患肢合并其他骨折; (2) 患膝合并严重韧带断裂或多发性韧带损伤; (3) 年龄<15

岁; (4) 既往膝关节手术史。

### 1.2 一般资料

回顾性分析 2020 年 10 月—2022 年 12 月在本院接受关节镜微创手术治疗的 58 例 ACL 胫骨止点撕脱骨折患者的临床资料, 根据医患沟通结果, 将患者分为两组, 28 例利用 3D 打印技术辅助关节镜下骨折复位内固定 (3D 组), 30 例常规行关节镜下骨折复位内固定 (常规组)。两组患者术前一般资料见表 1, 两组年龄、性别、体重指数 (body mass index, BMI)、病程、侧别、骨折分型的差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。本研究通过本医院医学伦理委员会批准 [批准号: 2020 医院伦审第 (018) 号], 患者均签署知情同意书。

表 1. 两组患者术前一般资料比较

Table 1. Comparison of preoperative general data between two groups

指标	3D 组 (n=28)	常规组 (n=30)	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$ )	32.2±8.1	31.2±8.6	0.635
性别 (例, 男/女)	12/16	13/17	0.971
BMI (kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	21.8±1.1	22.1±0.9	0.298
损伤至手术时间 (d, $\bar{x} \pm s$ )	8.1±6.2	7.3±4.8	0.567
侧别 (例, 左/右)	17/11	16/14	0.571
Meyers 分型 (例, II/III/IV)	8/15/5	10/13/7	0.730

### 1.3 手术方法

3D 组: 行患膝关节 CT 薄层扫描, 将 DICOM 格式影像数据导入 Mimics 软件, 构建骨折模型, 利用 3D 打印机完成 1:1 等比例实物模型打印。根据 3D 打印模型, 分析撕脱骨折块形态、大小、移位等, 设计固定方式, 进行手术模拟预演 (图 1a~1f)。术中采用腰硬联合麻醉, 患者取仰卧位, 于大腿根部放置气囊止血带。建立患膝前内、前外侧入路, 清理关节腔内积血、游离骨软骨碎片、增生滑膜等, 牵拉开嵌夹在骨折断端内的膝横韧带、半月板前角, 显露 ACL 胫骨止点撕脱骨折块与胫骨骨床, 利用刨削刀、磨钻新鲜化骨折面, 适度加深骨床。在胫骨结节内侧作长 2~4 cm 纵行切口, 参照手术预演结果, 在 ACL 重建定位器引导下定位并钻取 2~4 个胫骨隧道

(图 2c, 2d)。利用硬膜外穿刺针将高强度缝线穿入 ACL 胫骨侧基底, 经胫骨隧道拉出, 调整骨折块位置和缝线张力, 利用门形钉拴桩打结固定。术中屈

伸活动膝关节, 确定骨折块复位良好和固定牢固 (图 2e)。对合并半月板撕裂同期予以修整或缝合。3D 组典型病例见图 2。

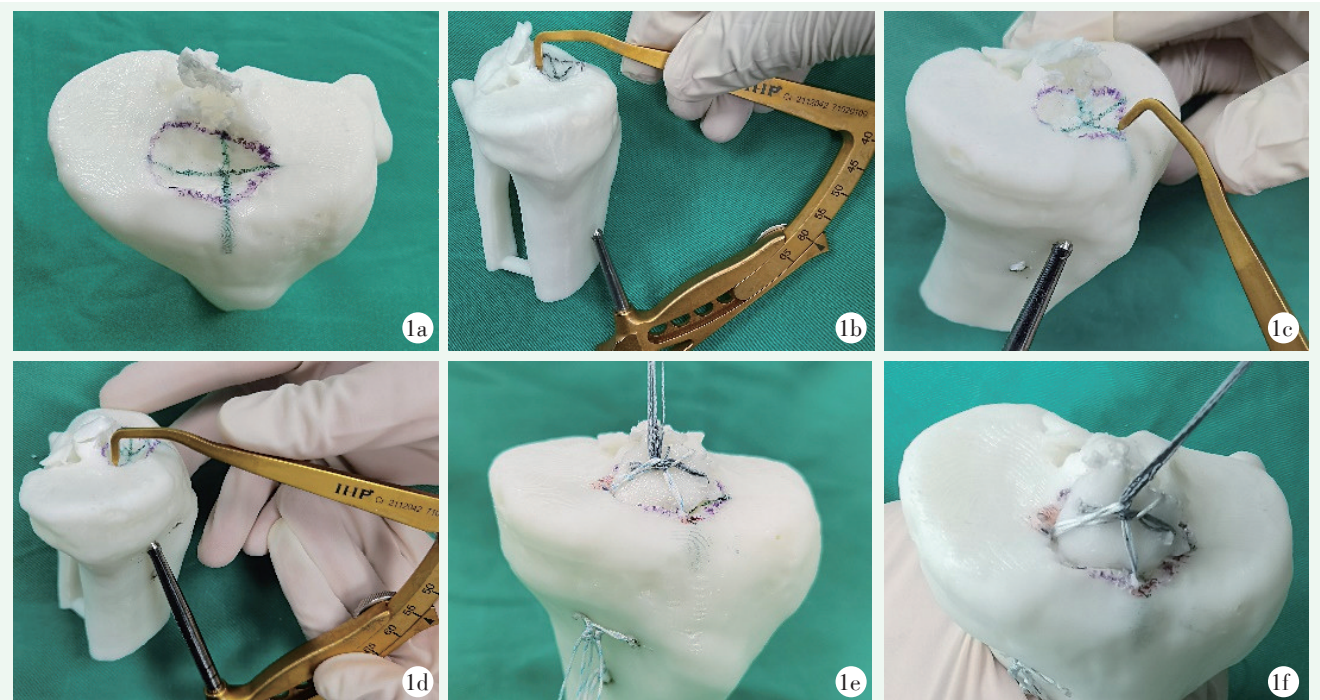


图 1. 术前 3D 打印模型手术演示。1a: 在 3D 打印骨折模型上测量骨折块大小及骨床深度; 1b~1d: 设计 2~4 个胫骨隧道, 选择最佳导向器角度依次钻取隧道; 1e: 经隧道引入高强度缝线牵拉固定骨折块; 1f: 模拟膝关节屈伸动作, 检查骨折块固定稳定性。

Figure 1. Preoperative surgical preview on the 3D printed model. 1a: Measurement of fracture fragments size and bone bed depth on the model; 1b~1d: Two~four tibial tunnels were designed, and the tunnels were drilled successively by selecting the best guide angle; 1e: High-strength suture was introduced through the tunnel to fix the fracture fragments; 1f: Simulating knee flexion-extension motion to check the stability of fracture block fixation.

常规组: 行患膝关节薄层 CT 扫描和 3D 重建, 不作 3D 打印和手术模拟预演, 常规行关节镜下骨折复位和经胫骨隧道牵拉缝线固定, 麻醉方式、体位及基本手术操作均与 3D 组相同。

术毕患膝关节放置引流, 加压包扎, 术后即行踝泵、股四头肌等长收缩和髌骨推移训练, 同时予以冷敷、经皮肌肉电刺激等理疗, 术后第 1 周完全伸膝位支具固定、部分负重行走, 术后第 2 周开始循序进行患膝主动屈伸练习, 术后 3~6 周在支具保护下完全负重行走, 术后 2~3 个月内去除支具, 术后 3~6 个月加强训练并逐步回归运动。

#### 1.4 评价指标

记录围手术期资料, 包括手术时间、切口总长度、首次建立骨道成功率、术后引流量、下地行走时间、切口愈合情况及住院时间, 采用完全负重活动时间、Lysholm 评分、国际膝关节文献委员会 (Internation-

al Knee Documentation Committee, IKDC) 评分、前抽屉试验评价临床效果。行影像检查, 评估骨折复位质量与愈合时间。优为解剖复位, 良为骨折移位  $< 2$  mm, 差为骨折移位  $\geq 2$  mm。ACL 角, 定义为 ACL 远端前方切线与垂直于胫骨长轴的胫骨髁间嵴最前部 (ACL 前嵴) 的切线相交形成的角度<sup>[7]</sup>; ACL 前嵴高度, 定义为 ACL 前嵴与胫骨髁间前区最前端在胫骨长轴方向的距离<sup>[5]</sup> (图 3)。

#### 1.5 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示, 资料呈正态分布时, 两组间比较采用独立样本 *t* 检验, 组内比较采用重复测量方差分析; 资料呈非正态分布时, 采用秩和检验。计数资料采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确检验。等级资料两组比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

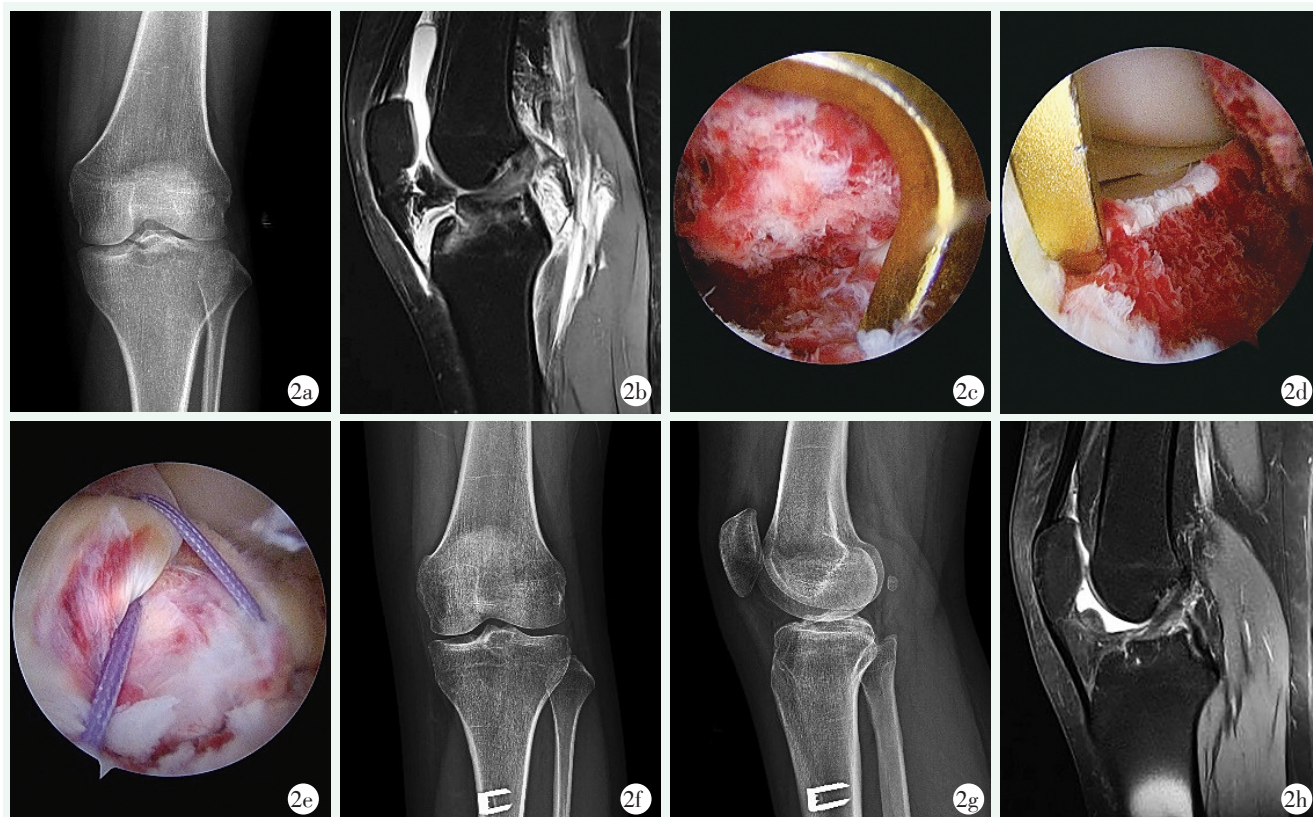


图 2. 患者女性, 33 岁。2a, 2b: 术前 X 线片及 MRI 检查示 ACL 胫骨止点撕脱骨折 (Meyers II 型), ACL 角变小, ACL 前嵴高度增加; 2c~2e: 依据术前 3D 模拟, 术中镜下钻取胫骨隧道, 高强度缝线固定骨折块; 2f~2h: 术后 1 年 X 线片及 MRI 检查示 ACL 胫骨止点撕脱骨折复位良好, 已愈合, ACL 角和 ACL 前嵴高度恢复正常。

Figure 2. A 33 years old female. 2a, 2b: Preoperative plain film and MRI showed ACL avulsion fracture of the tibial crest (Meyers type II), with declined ACL angle and elevated ACL spine height; 2c~2e: According to preoperative 3D simulation, the tibial tunnels were drilled under arthroscope and the fracture fragments were reduced and fixed with high-strength sutures; 2f~2h: Plain film and MRI 1 year after operation revealed the ACL avulsion fracture of the tibial crest reduced and healed well with the ACL angle and ACL spine height returned to normal levels.

## 2 结果

### 2.1 围手术期情况

所有患者均顺利完成手术, 未见血管神经损伤、伤口感染、下肢深静脉血栓形成等并发症。两组患者围手术期资料见表 2。两组间切口总长度、下地行走时间、住院时间差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。3D 组手术时间、术后引流量显著少于常规组 ( $P<0.05$ ), 首次建立骨道成功率显著高于常规组 ( $P<0.05$ )。

### 2.2 随访结果

所有患者均获随访, 随访时间 12~18 个月, 平均 ( $12.7\pm 6.9$ ) 个月。两组患者随访结果见表 3。两组患者均无关节粘连、行翻修手术者。术后 3D 组完全负重活动时间显著早于常规组 ( $P<0.05$ ), 随时间推移, 两组 Lysholm 评分、IKDC 评分均显著增加 ( $P<0.05$ ), 前抽屉试验显著改善 ( $P<0.05$ )。术后 3

个月时, 3D 组 IKDC 评分显著高于常规组 ( $P<0.05$ )。其他相应时间点, 两组 Lysholm 评分、IKDC 评分、前抽屉试验的差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ )。

指标	3D 组 (n=28)	常规组 (n=30)	P 值
手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$ )	44.6 $\pm$ 9.0	51.3 $\pm$ 13.2	0.029
切口总长度 (cm, $\bar{x} \pm s$ )	5.1 $\pm$ 0.8	5.4 $\pm$ 0.9	0.557
首次建立骨道成功 [例 (%)]	17 (60.7)	10 (33.3)	0.037
术后引流量 (ml, $\bar{x} \pm s$ )	163.1 $\pm$ 29.1	180.3 $\pm$ 33.4	0.019
下地行走时间 (d, $\bar{x} \pm s$ )	2.3 $\pm$ 0.4	2.4 $\pm$ 0.9	0.638
切口愈合 (例, 甲/乙/丙)	28/0/0	30/0/0	ns
住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$ )	6.6 $\pm$ 1.9	7.0 $\pm$ 2.3	0.276

### 2.3 影像评估

两组患者术后影像评估结果见表 4。3D 组骨折

复位质量优良率显著优于常规组 ( $P < 0.05$ )。与术前相比, 术后两组患者 ACL 角显著增加 ( $P < 0.05$ )、ACL 前嵴高度显著减小 ( $P < 0.05$ )。术前两组间 ACL 角、ACL 前嵴高度的差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。术后 3 个月时, 两组间 ACL 角差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 但 3D 组 ACL 前嵴高度显著小于常规组 ( $P < 0.05$ )。术后 3 个月时, MRI 显示两组患者 ACL 连续性完整, 两组骨折愈合时间差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。

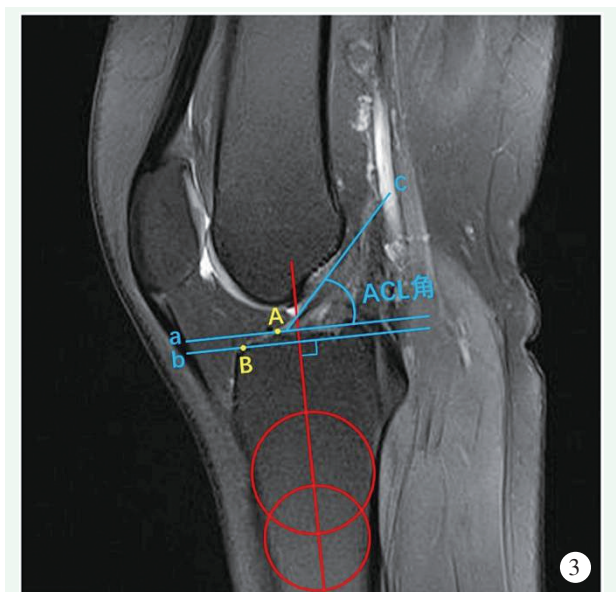


图 3. 在膝关节 MRI 矢状位测量。A 点代表胫骨髁间嵴最前部 (ACL 前嵴), B 点代表胫骨髁间前区最前端; a 线为经 ACL 前嵴的胫骨长轴的垂线, b 线为经胫骨髁间前区最前端的胫骨长轴的垂线, c 线为 ACL 远端前方的切线; a 线与 c 线之间的夹角为 ACL 角, a 线与 b 线之间的距离为 ACL 前嵴高度。

Figure 3. Measurement in sagittal MRI. Point A represents the most anterior intercondylar ridge of tibial crest (anterior ACL ridge), while point B represents the most anterior tibial intercondylar region; Line a is the vertical line of the long axis of the tibia passing through the anterior ACL ridge, while line b is the vertical line of the long axis of the tibia passing through the most anterior tibial intercondylar region, line c is the tangential line in front of the distal end of the ACL. The angle between line a and line c is the ACL angle, while the distance between line a and line b is the anterior ACL crest height.

### 3 讨论

ACL 是维持膝关节屈伸和旋转活动的重要静力稳定结构, 当 ACL 胫骨止点撕脱骨折发生时, 股骨-

ACL-胫骨复合体功能紊乱, 导致膝关节前向失稳及前外侧旋转不稳。根据撕脱骨折块形态和移位程度予以分类 (Meyers 分型): I 型为骨折块无移位或前缘轻度移位; II 型为骨折块前方的 1/3~1/2 发生移位, 后方仍与胫骨平台相连; III 型为骨折块与胫骨平台完全分离; IV 型为粉碎性撕脱骨折<sup>[8, 9]</sup>。对于 I 型和轻度移位  $< 5$  mm 的 II 型骨折, 首选保守治疗, 伸直固定患膝关节 6~8 周, 但当合并半月板等撕裂时需要考虑手术治疗<sup>[10]</sup>。对于移位明显的 II~IV 型骨折, 则应当及时予以骨折复位内固定手术治疗。自 1982 年 Mclellan 等<sup>[11]</sup>首次报道应用关节镜技术治疗胫骨髁间嵴骨折, 随着关节镜技术的发展, 镜下复位固定 ACL 胫骨止点撕脱骨折在临床上受到青睐。ACL 胫骨止点撕脱骨折块较小, 位置特殊, 手术具有挑战性。为实现临床治疗的精准化和个体化, 数字化骨科应运而生, 其中 3D 打印技术广泛应用于临床上各种复杂骨折的治疗, 已成为促进骨科临床发展的重要推动力。本研究利用 3D 打印辅助镜下固定 II~IV 型 ACL 胫骨止点撕脱骨折, 有效提高手术疗效, 再次证实数字化技术与微创化骨科技术相结合具有重要的临床价值。

表 3. 两组患者随访资料比较

Table 3. Comparison of follow-up data between the two groups

指标	3D 组 (n=28)	常规组 (n=30)	P 值
完全负重活动时间 (d, $\bar{x} \pm s$ )	21.7 $\pm$ 5.4	25.9 $\pm$ 6.1	<b>0.033</b>
Lysholm 评分 (分, $\bar{x} \pm s$ )			
术前	10.1 $\pm$ 9.4	10.3 $\pm$ 8.6	0.923
术后 3 个月	71.0 $\pm$ 10.1	69.8 $\pm$ 9.3	0.636
术后 12 个月	90.7 $\pm$ 5.1	89.9 $\pm$ 4.7	0.543
P 值	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	
IKDC 评分 (分, $\bar{x} \pm s$ )			
术前	15.9 $\pm$ 5.7	14.4 $\pm$ 4.4	0.285
术后 3 个月	78.6 $\pm$ 6.6	74.1 $\pm$ 7.1	<b>0.016</b>
术后 12 个月	93.7 $\pm$ 4.3	92.5 $\pm$ 3.2	0.228
P 值	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	
前抽屉试验 (例, -/1+/2+/3+)			
术前	0/5/16/7	0/6/15/9	0.859
术后 3 个月	22/6/0/0	21/9/0/0	0.456
术后 12 个月	25/3/0/0	22/8/0/0	0.122
P 值	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	

在关节镜下固定 ACL 胫骨止点撕脱骨折时, 钢丝<sup>[12]</sup>、克氏针<sup>[13]</sup>、带线锚钉等<sup>[14]</sup>均是常用内固定

材料, 笔者更倾向于经胫骨隧道牵拉高强度缝线进行弹性固定。主要原因: (1) 根据术中具体情况灵活调整胫骨隧道位置和选择缝线数量, 确保缝线在骨折块周缘呈多向性牵拉, 能够有效防止骨折块前缘翘起或固定松脱, 形成坚强内固定。离体生物力学研究表明, 经胫骨牵拉高强度缝线的固定强度和失效载荷高于螺钉<sup>[15]</sup>或锚钉<sup>[16]</sup>; (2) 高强度缝线纤细光滑, 容易引入关节腔及窄小骨道内, 对关节软骨及胫骨近端髌板损伤风险小, 不必经二次手术取出; (3) 高强度缝线作用于 ACL 基底腱骨连接部位, 发挥弹性张力带固定作用, 不仅固定效果不依赖于撕脱骨折块的大小或形态, 而且能够避免对骨折块的强力剪切, 术中无需担心骨折块的进一步碎裂, 适用于治疗粉碎性或骨折块较小的 ACL 胫骨止点撕脱骨折<sup>[17]</sup>。曲峰等<sup>[18]</sup>在关节镜下撬拨复位胫骨髁间嵴粉碎性撕脱骨折 (Meyers IV 型), 利用双韧带结缝线桥固定, 获得满意的临床效果。王一仲等<sup>[19]</sup>采用三线交联法固定 36 例 ACL 胫骨止点撕脱骨折, 术后 12~16 周骨折愈合, 膝关节功能恢复。

钻取骨隧道失败率, 缩短手术操作时间; (3) 对于低年资医师, 手术模拟和反复预演有助于缩短学习曲线; (4) 为患者提供个性化治疗, 有助于提高手术效果, 促进术后功能早期恢复。宋辰光等<sup>[20]</sup>应用 3D 打印技术设计个体化导向器, 用于辅助镜下治疗 ACL 胫骨止点撕脱骨折 20 例, 术后均获得骨性愈合, 患膝关节功能恢复良好。由于 3D 打印导向器贴附胫骨内侧骨面时需要较大的手术切口, 剥离较多的深层组织, 本次研究未予以应用, 仍采用 ACL 重建胫骨导向器定位隧道, 根据胫骨隧道位置的实际需要, 灵活选择恰当的导向器角度。

本研究的不足: 纳入患者病例数量较少; 随访时间偏短。本研究提示, 3D 打印辅助关节镜下治疗 ACL 胫骨止点撕脱骨折, 能够有效缩短手术时间, 提高建立骨道成功率和骨折复位质量, 促进膝关节功能早期恢复, 具有可行性和实用性, 值得深入研究和临床推广。

#### 参考文献

- [1] Gans I, Baldwin KD, Ganley TJ. Treatment and management outcomes of tibial eminence fractures in pediatric patients: a systematic review [J]. *Am J Sports Med*, 2014, 42 (7): 1743-1750. DOI: 10.1177/0363546513508538.
- [2] Salvato D, Green DW, Accaddbld F, et al. Tibial spine fractures: State of the art [J]. *J ISAKOS*, 2023, 8 (6): 404-411. DOI: 10.1016/j.jisako.2023.06.001.
- [3] Albertson B, Beynon B, Endres N, et al. Incidence of anterior tibial spine fracture among skiers does not differ with age [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30 (7): 2291-2297. DOI: 10.1007/s00167-021-06782-7.
- [4] 李光磊, 王宝鹏, 张汉宽, 等. 前交叉韧带解剖学研究进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (16): 1491-1495. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.16.11. Li GL, Wang BP, Zhang HK, et al. Anatomical research progress of anterior cruciate ligament [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (16): 1491-1495. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.16.11.
- [5] Tensho K, Shimodaira H, Aoki T, et al. Bony landmarks of the anterior cruciate ligament tibial footprint: a detailed analysis comparing 3-dimensional computed tomography images to visual and histological evaluations [J]. *Am J Sports Med*, 2014, 42 (6): 1433-1440. DOI: 10.1177/0363546514528789.
- [6] 米发霖, 杨如意, 赵天宝, 等. 3D 打印技术在骨科临床与基础研究应用的现状 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30 (9): 810-814. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.09.09. Mi FK, Yang RY, Zhao TB, et al. Current application of 3D printing technique in orthopaedic clinical practice and basic research [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2022, 30 (9): 810-814. DOI:

表 4. 两组患者影像资料比较

Table 4. Comparison of radiographic data between the two groups

指标	3D 组 (n=28)	常规组 (n=30)	P 值
骨折复位质量 (例, 优/良/差)	15/12/1	8/16/6	<b>0.045</b>
ACL 角 (°, $\bar{x} \pm s$ )			
术前	35.3±5.3	34.2±5.2	0.446
术后 3 个月	51.4±3.2	50.7±3.1	0.394
P 值	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	
ACL 前嵴高度 (mm, $\bar{x} \pm s$ )			
术前	5.5±1.2	5.6±1.1	0.817
术后 3 个月	2.3±0.8	2.9±0.8	<b>0.009</b>
P 值	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	
骨折愈合 (例, <9 周/9~12 周/ ≥12 周)	11/17/0	9/20/1	0.503

应用 3D 打印辅助关节镜下固定 ACL 胫骨止点撕脱骨折, 具有下述优势: (1) 在模型上测量骨折块形态、大小以及胫骨骨床深度, 设计胫骨隧道数量、位置和方向以及缝线固定方式, 参考预演效果进行调整, 有助于获取最佳手术方案; (2) 胫骨隧道直径较小 (2~4.5 mm), 若术中反复钻取胫骨隧道, 可能会因胫骨隧道交叉、骨质缺失导致引线困难。通过 3D 打印模型准确定位隧道内口及走行方向, 有助于降低

- 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.09.09.
- [7] Mellado JM, Calmet J, Olona M, et al. Magnetic resonance imaging of anterior cruciate ligament tears: reevaluation of quantitative parameters and imaging findings including a simplified method for measuring the anterior cruciate ligament angle [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2004, 12 (3) : 217-224. DOI: 10.1007/s00167-003-0431-2.
- [8] Meyers MH, McKeever FM. Fracture of the intercondylar eminence of the tibia [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1959, 41-A (2) : 209-220; discussion 220-202.
- [9] Zaricznyj B. Avulsion fracture of the tibial eminence: treatment by open reduction and pinning [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1977, 59 (8) : 1111-1114.
- [10] Shimberg JL, Leska TM, Cruz AI Jr, et al. Is nonoperative treatment appropriate for all patients with type 1 tibial spine fractures? A multicenter study of the Tibial Spine Research Interest Group [J]. *Orthop J Sports Med*, 2022, 10 (6) : 23259671221099572. DOI: 10.1177/23259671221099572.
- [11] McLennan JG. The role of arthroscopic surgery in the treatment of fractures of the intercondylar eminence of the tibia [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1982, 64 (4) : 477-480. DOI: 10.1302/0301-620X.64B4.6896515.
- [12] 杨伟毅, 张小亮, 徐逸生, 等. ACL 胫骨止点撕脱骨折固定新方法-23 例报道 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2018, 26 (18) : 1639-1642. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.18.02.  
Yang WY, Zhang XL, Xu YS, et al. A novel technique of cross steel wire loops for internal fixation of ACL tibial avulsion fracture: a 23-case report [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2018, 26 (18) : 1639-1642. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.18.02.
- [13] 刘尧, 王晓东, 朱伦庆, 等. 镜下改良克氏针固定儿童胫骨髁间棘骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (18) : 1692-1694. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.18.14.  
Liu Y, Wang XD, Zhu LQ, et al. A modified Kirschner wire fixation under arthroscopy for intercondylar tibial eminence fractures in children [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (18) : 1692-1694. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.18.14.
- [14] 李良军, 丑克, 何志勇, 等. 关节镜下多枚带线锚钉缝合固定治疗胫骨髁间嵴撕脱骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2016, 24 (2) : 178-181. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2008.08.008.  
Li LJ, Chou K, He ZY, et al. Arthroscopic internal fixation by using anchor for tibial eminence fracture [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2016, 24 (2) : 178-181. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6604.2008.08.008.
- [15] Eggers AK, Becker C, Weimann A, et al. Biomechanical evaluation of different fixation methods for tibial eminence fractures [J]. *Am J Sports Med*, 2007, 35 (3) : 404-410. DOI: 10.1177/0363546506294677.
- [16] 刘镇煌, 黄长明, 傅仰攀, 等. 两种前交叉韧带胫骨止点撕脱骨折固定的生物力学比较 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (6) : 542-547. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.06.13.  
Liu ZH, Huang CM, Fu YP, et al. Biomechanical comparison of two fixations for tibial avulsion fractures of anterior cruciate ligaments [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (6) : 542-547. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.06.13.
- [17] Schnependahl J, Thelen S, Gehrmann S, et al. Biomechanical stability of different suture fixation techniques for tibial eminence fractures [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2012, 20 (10) : 2092-2097. DOI: 10.1007/s00167-011-1838-9.
- [18] 曲峰, 李海鹏, 王克涛, 等. 镜下双领带结缝线桥固定胫骨髁间嵴 Meryers IV 型骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2023, 31 (14) : 1316-1319. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.14.15.  
Qu F, Li HP, Wang KT, et al. Arthroscopic double-tie-knot suture bridge for fixation of Meryers type IV tibial intercondylar eminence fractures [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2023, 31 (14) : 1316-1319. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.14.15.
- [19] 王一仲, 陈雪松, 田斌, 等. 镜下三线交联拉出固定前交叉韧带胫骨止点撕脱骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2023, 31 (4) : 365-368. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.04.16.  
Wang YZ, Chen XS, Tian B, et al. Pullout of a three-suture net in arthroscopic fixation of anterior cruciate ligament tibial avulsion fractures [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2023, 31 (4) : 365-368. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.04.16.
- [20] 宋辰光, 王鑫众, 李晋, 等. 3D 打印导向器辅助镜下 ACL 胫骨撕脱骨折固定 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (12) : 1124-1127. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.12.15.  
Song CG, Wang XZ, Li J, et al. 3D printed guider assisted fixation of anterior cruciate ligament tibial avulsion fracture under arthroscopy [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (12) : 1124-1127. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.12.15.

(收稿:2023-11-27 修回:2024-06-24)

(同行评议专家: 周敬滨, 曲峰, 成伟男)

(本文编辑: 郭秀婷)